



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 42 44 240 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 01 B 11/03**  
H 01 S 3/105  
H 01 S 3/11  
H 01 S 3/025

⑳ Aktenzeichen: P 42 44 240.0  
㉔ Anmeldetag: 24. 12. 92  
㉕ Offenlegungstag: 30. 6. 94

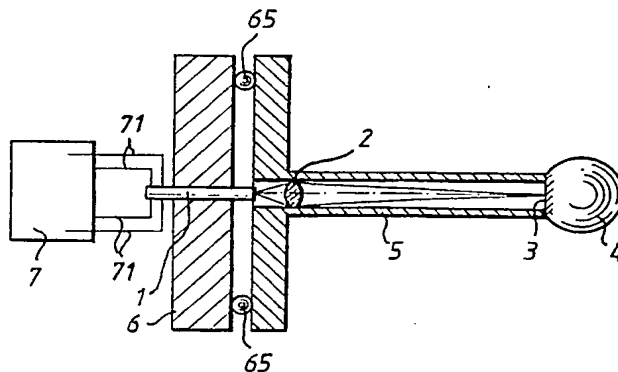
DE 42 44 240 A 1

㉑ Anmelder:  
Fa. Carl Zeiss, 89520 Heidenheim, DE

㉒ Erfinder:  
Noll, Gert, Dr., 7920 Heidenheim, DE

㉔ Taststift

㉕ Taststift mit einem beweglichen Berührungsteil (5) und einem festen Teil (6) und mit einem Laser-Rückkoppel-Sensor, aufgebaut mit Laser (1), externem Resonatorspiegel (3) und Fokussierlinse (2), wobei der Laser (Laserdiode) (1) am festen Teil (6) und die Fokussierlinse (2) am beweglichen Berührungsteil (5) befestigt sind, oder umgekehrt der Laser (1) am beweglichen Berührungsteil (5) und die Fokussierlinse (2) am festen Teil (6) befestigt sind. Für Koordinatenmeßgeräte u. a.



DE 42 44 240 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 05. 94 408 026/300

7/37

Die Erfindung betrifft einen Taststift mit einem beweglichen Berührungsteil, einem festen Teil und mit einem Laser-Rückkoppel-Sensor, aufgebaut mit Laser, externem Resonatorspiegel und Fokussierlinse.

Ein solcher Taststift ist aus US 5,103,572 insbesondere Fig. 5 und 6 nebst zugehöriger Beschreibung bekannt. Diese Schrift nennt auch weiteren Stand der Technik. Ein zugrundeliegendes Laserdioden-Selbstrückkoppel-Interferometer nach Fig. 13 von T. Yoshino et al. Applied Optics 26 (1987), 892-897 weist ebenfalls eine Fokussierlinse im externen Resonator auf. Einheitlich wird davon ausgegangen, daß nur der Rückkoppelspiegel bewegt wird, die Fokussierlinse ist nur ein fakultatives Element.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen gattungsgemäßen Taststift bei gleichbleibendem Aufwand mit größerer Meßempfindlichkeit auszustatten.

Dies gelingt dadurch, daß der Laser am festen Teil und die Fokussierlinse am beweglichen Teil befestigt sind, oder umgekehrt der Laser am beweglichen Berührungsteil und die Fokussierlinse am festen Teil befestigt sind.

Die Erfindung geht aus von der Erkenntnis, daß eine Relativbewegung der Fokussierlinse gegenüber dem Laser im Vergleich zu einer gleichgroßen Relativbewegung des Rückkoppelspiegels gegenüber dem Laser eine wesentliche stärkere Veränderung der Resonatorgüte bewirkt. Dies ist nicht wesentlich abhängig davon, ob der Rückkoppelspiegel mit der Fokussierlinse mitbewegt wird, oder ob er starr mit dem Laser verbunden ist. Dies wird durch die Ausführung mit dem Kennzeichen des Hauptanspruchs 1 ausgenutzt.

Dabei kann der Laser alternativ wie beim Stand der Technik am festen Teil befestigt sein, aber auch genauso am beweglichen Berührungsteil. Die Fokussierlinse ist am jeweils anderen Teil befestigt, um die maßgebliche Relativbewegung zu ermöglichen.

Ist der externe Resonatorspiegel daneben starr mit der Fokussierlinse verbunden, dann ergibt sich eine mechanisch und herstelltechnisch besonders einfache Lösung.

Der externe Resonatorspiegel kann jedoch im Gegensatz zum Stand der Technik auch starr mit dem Laser verbunden sein.

Als Laser eignet sich besonders eine Laserdiode oder ein Laserdiodenarray, wobei besonders ihre kompakte Bauart vorteilhaft ist.

Sind der feste Teil und der bewegliche Berührungsteil mit einer Linearführung miteinander verbunden, dann eignet sich der Taststift als z-Taster zur präzisen einachsigen Messung kleinster Verschiebungen von wenigen Mikrometern.

Nach Anspruch 6 mit einer in drei Achsen linear verschiebbaren und um zwei zur optischen Achse des Laser-Rückkoppel-Interferometers senkrechte Achsen drehbaren, also kippbaren Verbindung eignet sich der Taster als für alle Arten der Auslenkung empfindlicher schaltender Taster.

Hat der Auskoppelspiegel des Lasers reduzierte Reflexion, so daß Lasereffekt ohne den externen Resonatorspiegel nicht eintritt, so hat eine Veränderung der Geometrie von Laser, Fokussierlinse und Resonatorspiegel eine deutlich erhöhte Wirkung auf die Leistung des Lasers.

Vorteilhafterweise beträgt der Abstand zwischen Laser und Fokussierlinse weniger als die Hälfte des Ab-

stands zwischen Laser und Resonatorspiegel.

Die Erfindung wird anhand der schematischen Zeichnung näher erläutert.

Fig. 1 zeigt einen Taststift mit Laser-Rückkoppel-Sensor, bei dem neben der Fokussierlinse auch der Rückkoppelspiegel im kippbaren Teil angeordnet ist;

Fig. 2a zeigt im Längsschnitt einen Taststift gemäß der Erfindung mit starr mit dem Laser verbundenem Resonatorspiegel;

Fig. 2b zeigt einen Querschnitt eines Taststifts nach Fig. 2a;

Fig. 3 zeigt einen Taststift, bei dem Laser und Rückkoppelspiegel am beweglichen Berührungsteil befestigt sind und das Berührungsteil am festen Teil linear geführt ist;

Fig. 4 zeigt im teilweisen Schnitt ein Ausführungsbeispiel mit besonders geringem Abstand von Laser und Fokussierlinse und mit fünffachsigem Federgelenk;

Fig. 5 zeigt den Verlauf der Laserleistung in Abhängigkeit von rein axialer Verschiebung der Tastkugel (und damit des Objektivs);

Fig. 6 zeigt den Verlauf der Laserleistung in Abhängigkeit der linearen Verschiebung des Objektivs in den drei Koordinatenrichtungen bei angepaßtem Offset.

Fig. 1 zeigt einen Laser (1), eine Fokussierlinse (2) und einen Spiegel (3), welche den Laser (1) mit einem externen Resonator ergänzen. Diese Bauteile sind integriert in einen Taststift mit Tastkugel (4) am beweglichen, stabförmigen Teil (5), das über ein bei Taststiften übliches Kipplager (65) mit stabiler Grundstellung auf einem an der Meßmaschine, insbesondere deren Pinole, befestigten festen Teil (6) abgestützt ist.

Der Laser (1) ist in diesem festen Teil (6) angeordnet. Der Laser (1) ist im Beispiel eine kommerziell erhältliche Laserdiode mit integrierter Fotodiode zur Leistungserfassung Modell Hitachi HL 7806, über Anschlüsse (71) ist der Laser (1) mit integrierter Fotodiode mit einer elektronischen Schaltung (7) verbunden, die zur Stromversorgung und Leistungsauswertung des Lasers (1) dient. Damit ist der auch aus US 5,103,572 bekannte Laser-Rückkoppel-Sensor aufgebaut, der aber hier die relativ zum Laser (1) beim Antasten der Tastkugel (4) bewegliche Fokussierlinse (2) enthält. Durch die Bewegung der Fokussierlinse (2) mit der Tastkugel (4) ist die spezifische Lichtablenkung im Resonator (1, 2, 3) höher, als wenn nur der Resonatorspiegel (3) mitbewegt wird.

Im Beispiel der Fig. 2a und 2b trägt das feste Teil (620) den Laser (1) und auf einem geschlitzten Rohr (62) auch den Resonatorspiegel (3). Die Fokussierlinse (2) ist über ihre Fassung (52) und drei durch die Schlitze des Rohrs (62) greifende Stege (521, 522, 523) mit dem die Tastkugel (4) tragenden beweglichen Berührungsteil (5) fest verbunden. Das Berührungsteil (5) ist über einen Federbalg (652) in fünf Achsen — außer Drehung um die optische Achse des Laser-Rückkoppel-Interferometers (1, 2, 3) — beweglich mit dem festen Teil (6) verbunden. Im Querschnitt Fig. 2b ist dazu die Durchführung der Halterung (52, 521, 522, 523) für die Fokussierlinse (2) durch das geschlitzte Rohr (62) verdeutlicht.

In Fig. 3 sind Laser (1) und Spiegel (3) mit dem beweglichen Teil (53) mit der Tastkugel (4) verbunden. Die Leitungen (71) stellen flexibel den Anschluß zur hier nicht dargestellten Schaltung her. Ober Gleitlager (653) ist das bewegliche Teil (53) linear am festen Teil (63) geführt, welches die Fokussierlinse (2) enthält. Die Linearführung kann auch anders erfolgen, z. B. über Federparallelogramme. In dieser Ausführung erhält man ei-

nen eindimensionalen z-Taster, der gut zum Messen sehr kleiner linearer Auslenkungen der Tastkugel (4) im Bereich weniger Mikrometer geeignet ist.

Zudem zeigt die Fig. 3 die einzelnen Komponenten einer als Laser (1) verwendeten kommerziellen Laserdiode, nämlich die eigentliche Laserdiode (11), die auch ein Laserdioden-Array sein kann, mit dem Auskoppelspiegel (12) und der Fotodiode (13), die als Monitor für die optische Leistung der Laserdiode (11) dient. Der Auskoppelspiegel (12) ist normalerweise einfach die durch Spalten erzeugte Endfläche des die Laserdiode bildenden Halbleiterkristalls. In der erfindungsgemäßen Anordnung ist es jedoch auch sinnvoll, die Laserdiode (11) einseitig zu entspiegeln, den Auskoppelspiegel (12) in seiner Reflektivität durch Aufbringen von Entspiegelungsschichten also soweit zu reduzieren, daß der Lasereffekt ohne den externen Resonatorspiegel (3) nicht mehr eintritt. Damit gelingt es, den gesamten Laser-Rückkoppel-Sensor gegen Verstimmung des externen Resonators, und das heißt gegen Bewegungen der Fokussierlinse (2), noch empfindlicher zu machen.

In Fig. 4 geht der die Tastkugel (4) tragende rohrförmige bewegliche Teil (54) über ein aus diesem Teil z. B. durch Erodieren herausgearbeitetes fünffaches Federgelenk (654) in den festen Teil (64) über. Auf einem durch das Federgelenk (654) in das bewegliche Teil (54) hineinragenden Fortsatz (641) des festen Teils (64) ist die Laserdiode (1) mit integrierter Fotodiode angebracht, deren Anschlußleitungen mit (71) bezeichnet sind.

Nah an der Laserdiode (1) ist die Fokussierlinse (2), die auch als mehrstufiges Objektiv ausgebildet sein kann, mit einer Fassung (22) im rohrförmigen beweglichen Teil (54) z. B. durch Klebung befestigt. Der Rückkoppelspiegel (3) z. B. aus Aluminium mit über 90% Reflexion ist auf die Tastkugel (4) geklebt und mit dieser an das rohrförmige bewegliche Teil (54) angeklebt, und zwar nach dem Prinzip des Richtkittens bei laufendem Laser (1) in eine Position gebracht, die maximale Leistung des Lasers (1) erbringt, oder bei der die Kennlinie der Leistung des Lasers (1) abhängig von der Bewegung in den einzelnen Achsen die gewünschte Form hat. Der Fortsatz (641) ist so ausgebildet, daß auch die Lage des Lasers (1) justiert werden kann und daß die erforderliche Kühlung gesichert ist.

Der Abstand von der Laserdiode (1) Hitachi 7806G zum Rückkoppelspiegel (3) beträgt in diesem Beispiel ca. 120 mm, der Abstand Laserdiode (1) zur Fokussierlinse (2) liegt bei 7 mm, die Brennweite der Fokussierlinse (2) ist etwas kleiner, so daß auf dem Rückkoppelspiegel (3) die Strahltaile zu liegen kommt. Am Rückkoppelspiegel (3) ergibt sich eine Schärfentiefe von mehreren Millimetern, so daß axiale Verschiebungen des Rückkoppelspiegels (3) bis zu diesem Maß keinen wesentlichen Einfluß auf die Resonatorgüte haben. Der externe Resonator hat dagegen bei einer Längsverschiebung der Fokussierlinse (2) von 2 µm über fünfzig Prozent Verlust. Dieses Verhalten bzw. die expliziten Werte hängen von der eingestellten Resonatorlänge ab, bei Vergrößerung der Länge wird die Empfindlichkeit größer.

Fig. 5 zeigt die an einer Monitor-Photodiode der Laserdiode (1) eines Taststifts nach Fig. 4 auftretende Variation der Laserleistung bzw. Photodiodenspannung U in relativen Einheiten in Abhängigkeit der rein axialen Verschiebung des Objekts (2) und somit auch der Tastkugel (4) gegenüber dem Laser (1), ausgehend von einem Bezugspunkt bei nahezu maximaler Leistung. Die

Kennlinie zeigt Extrema und etwa im Intervall 13 bis 18 Mikrometer in guter Näherung linear fallenden Verlauf. Dieser Bereich kann also als linear messender Bereich des Tasters genutzt werden. Durch Anfitzen eines gemessenen Kurvenverlaufs an einen einmal kalibrierten kann die Auslenkung jedoch auch in nichtlinearen Bereichen der Kennlinie gut bestimmt werden, bzw. der Verlauf eines Antastvorgangs kann genau verfolgt werden.

Wegen der axialen Symmetrie der Anordnung ergibt sich, daß ausgehend von einer Justierung mit optimaler Leistung die Empfindlichkeit gegen seitlichen Versatz und gegen Verkippung der Fokussierlinse (2) minimal ist. Dies läßt sich jedoch umgehen, indem die Grundstellung so einjustiert wird, daß die Fokussierlinse (2) gering seitlich versetzt ist (Offset). Da die einzelnen Bewegungen nicht unabhängig sind, ist dann auch ein axialer Versatz nötig. Es ist dann jedoch möglich, eine Justierposition zu finden, von der aus die Kennlinie der Leistung in Abhängigkeit von der Lageänderung für alle Richtungen mit ähnlicher Steigung hinreichend linear verläuft. Die geeignetste Justierung, die auch von der geforderten Charakteristik abhängt, kann durch Ab-scannen der Justierposition und Aufnahme der Kennlinien automatisiert, auch beim Richtkitten als kombinier-tem Justier- und Montageverfahren, ausgeführt werden.

Fig. 6 zeigt ein Beispiel für die Kennlinien beim Versatz in x-, y-, z-Richtung mit geeignetem Vorsatz der Grundstellung.

Wurde bei der Justierung des Beispiels der Fig. 5 eine Empfindlichkeit von ca. 180 a.u. pro µm (relative Einheiten, von Schaltungsdetails der integrierten Fotodiode und der elektronischen Schaltung (7) abhängig), so ist der axiale x-Wert mit 84 a.u. pro Mikrometer zwar halbiert, in den dazu senkrechten Richtungen werden jedoch immerhin 50 a.u. / µm bei 60 µm Offset in y-Richtung und 28 a. u. / µm bei 20 µm Offset in z-Richtung erreicht, bei 0 µm Offset in x-Richtung. Bei der Aufnahme wurden die Positionen der jeweils nicht abgescannten Bewegungsrichtungen in der Mitte des konstanten Steigungsbereiches eingestellt; der so festgelegte Arbeitspunkt (Offset + Position "Mitte") liegt somit bei 15 µm für axial x, 70 µm für y, 25 µm für z. Die y/z-Asymmetrie liegt im wesentlichen in der Unsymmetrie der Laserdioden-Abstrahlcharakteristik begründet.

Der erfindungsgemäße Taststift eignet sich zur Anwendung in Koordinatenmeßmaschinen und für andere Meßzwecke. Die Merkmale sind im Rahmen der Erfindung änderbar und austauschbar, insbesondere sind Merkmale einzelner Beispiele untereinander tausch- und kombinierbar. Auch Abwandlungen gemäß dem Stand der Technik aus US 5 103 572 sind im Rahmen der Erfindung möglich.

#### Patentansprüche

1. Taststift mit einem beweglichen Berührungsteil (5) und einem festen Teil (6) und mit einem Laser-Rückkoppel-Sensor, aufgebaut mit Laser (1), externem Resonatorspiegel (3) und Fokussierlinse (2), dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (1) am festen Teil (6) und die Fokussierlinse (2) am beweglichen Berührungsteil (5) befestigt sind, oder umgekehrt der Laser (1) am beweglichen Berührungsteil (5) und die Fokussierlinse (2) am festen Teil (6) befestigt sind.
2. Taststift nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der externe Resonatorspiegel (3) starr mit

der Fokussierlinse (2) verbunden ist (Fig. 1, 4).

3. Taststift nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der externe Resonatorspiegel (3) starr mit dem Laser (1) verbunden ist (Fig. 2, 3).

4. Taststift nach mindestens einem der Ansprüche 1—3, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (1) eine Laserdiode oder ein Laserdiodenarray ist.

5. Taststift nach mindestens einem der Ansprüche 1—4, dadurch gekennzeichnet, daß der feste Teil (63) und der bewegliche Berührungsteil (53) mit einer Linearführung (653) miteinander verbunden sind (Fig. 3).

6. Taststift nach mindestens einem der Ansprüche 1—4, dadurch gekennzeichnet, daß der feste Teil (6) und der bewegliche Berührungsteil (5) gegeneinander in drei Achsen (x, y, z) verschiebbar und um zwei zur optischen Achse (z) des Laser-Rückkoppel-Sensors (1, 2, 3) senkrechte Achsen drehbar sind.

7. Taststift nach mindestens einem der Ansprüche 1—6, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (1) einen Auskoppelspiegel (12) mit derart reduzierter Reflexion hat, daß Lasereffekt ohne den externen Resonatorspiegel (3) nicht eintritt.

8. Taststift nach mindestens einem der Ansprüche 1—7, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen Laser (1) und Fokussierlinse (2) weniger als die Hälfte des Abstandes zwischen Laser (1) und Resonatorspiegel (3) ist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

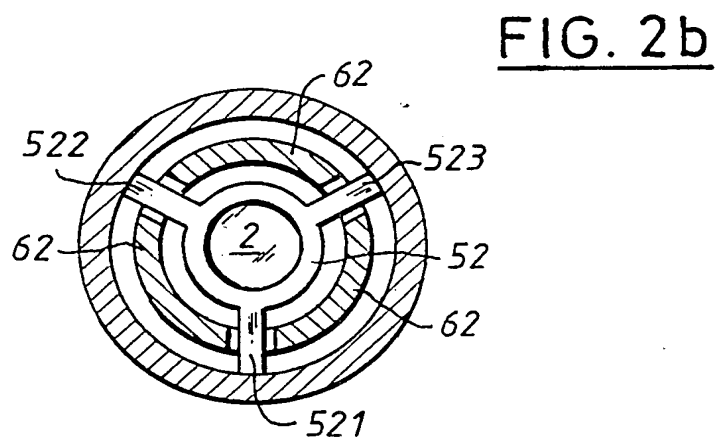
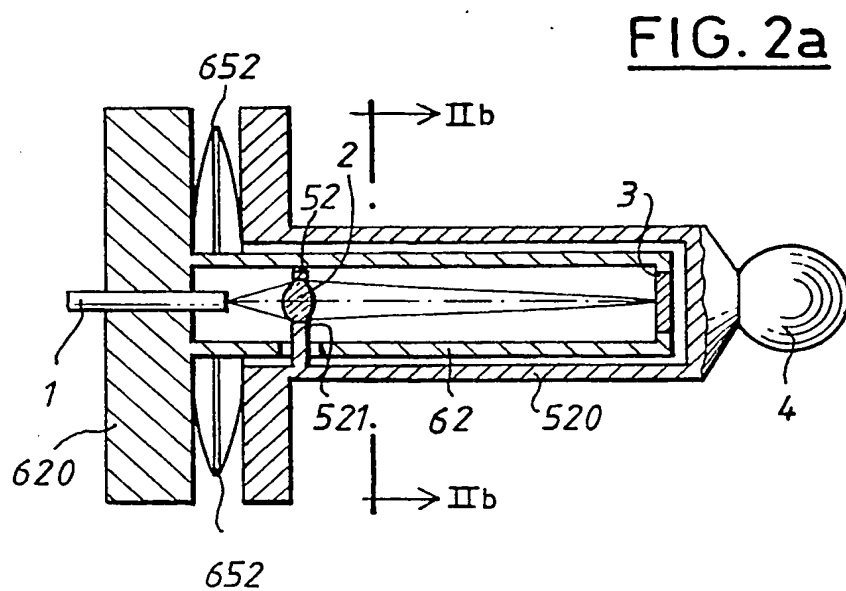
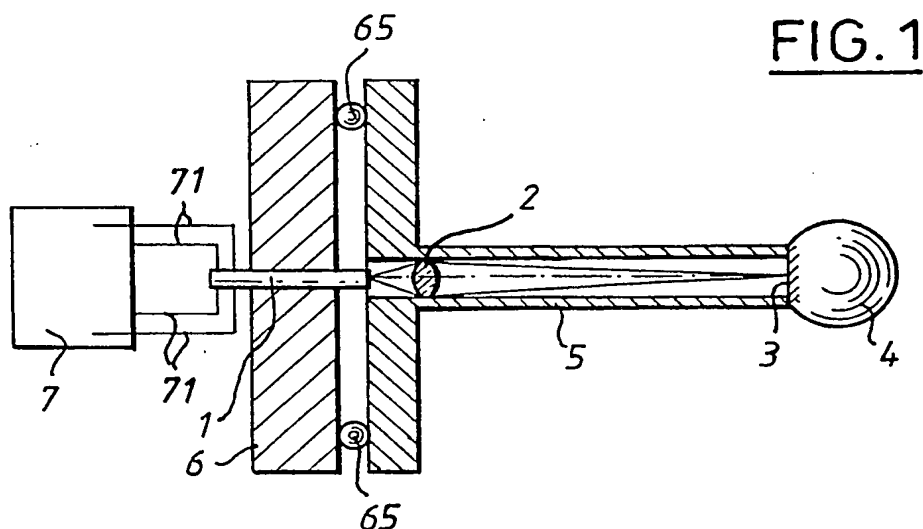


FIG. 3

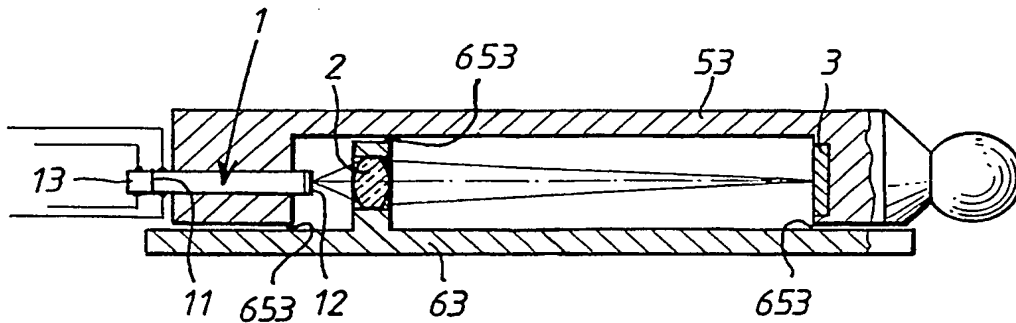


FIG. 4

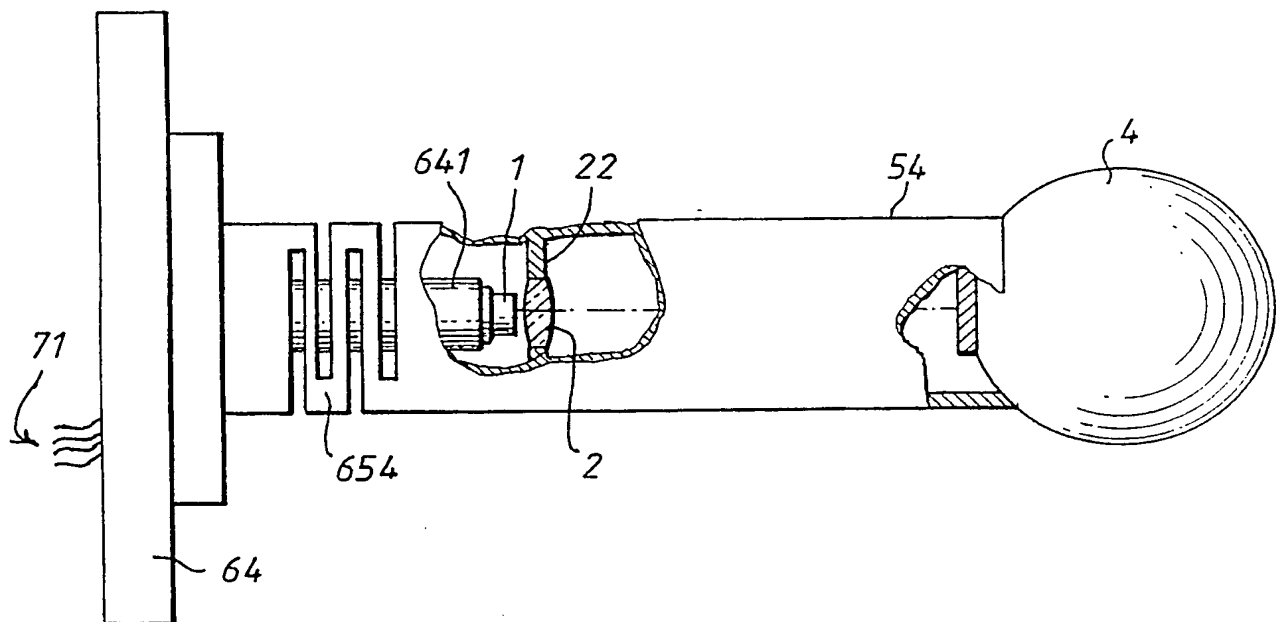
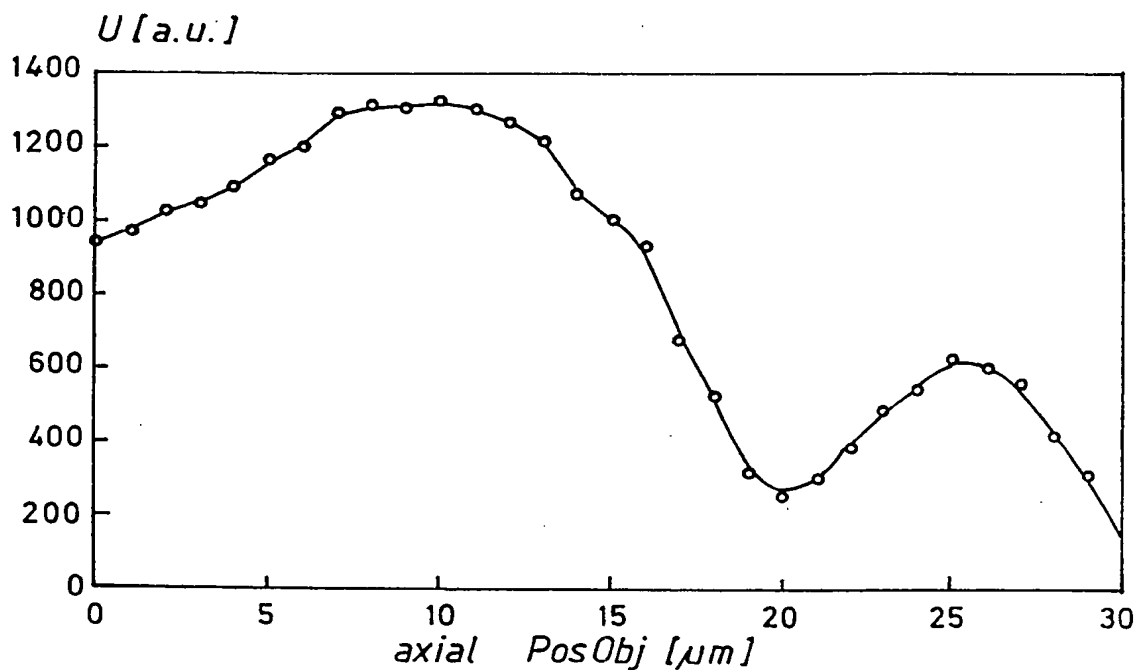


FIG. 5FIG. 6